

# LAPORAN

## PENELITIAN INTERNAL



### PEMETAAN TANAH LUNAK UNTUK MODEL PERKUATAN TANAH PONDASINYA

#### TIM PENGUSUL

Ketua : Dr. Abdul Rochim, ST, MT NIDN: 0608067601  
Anggota : Lisa Fitriyana, ST, M.Eng NIDN: 0631128901

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG  
JANUARI 2021**

### HALAMAN PENGESAHAN PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : PEMETAAN TANAH LUNAK UNTUK MODEL PERKUATAN TANAH PONDASINYA  
b. Bidang Ilmu : Teknik Sipil  
c. Kategori Penelitian : PENELITIAN REGULER - EXACT - DASAR
  2. Ketua Peneliti  
a. Nama Lengkap dan Gelar : Dr. Abdul Rochim, ST., MT.  
b. Jenis Kelamin : Laki - Laki  
c. Golongan / Pangkat / NIK : III C / 210200031  
d. Jabatan Fungsional : Lektor (200)  
e. Jabatan Struktural : WD I FT  
f. Fakultas / Jurusan : Fakultas Teknik  
g. Pusat Penelitian : LPPM Unissula
  3. Alamat Ketua  
a. Alamat Kantor / Telepon / Fax / Email : Jl Kaligawe KM 04 Semarang / 024-6583584  
b. Alamat Rumah / Telepon / Fax / Email : Jl.Layur Kp.Kranjangan Besar 33A Rt.04 Rw.03 Kel.Dadapsari Kec.Semarang Utara Semarang // [abdulrochim@unissula.ac.id](mailto:abdulrochim@unissula.ac.id)
  4. Jumlah Anggota : 1  
a. Nama Anggota : - Lisa Fitriyana, ST., M.Eng  
- RAHADYAN WIDYA RAMANDANA  
- VICKY ALLIF FAWAID
  5. Mahasiswa yang terlibat :  
6. Karyawan yang terlibat :  
7. Lokasi Penelitian : Semarang
  8. Kerjasama dengan Institusi lain  
a. Nama Institusi :  
b. Alamat :  
c. Telepon / Fax / Email :  
9. Lama Penelitian : 1 tahun
  10. Biaya yang diusulkan  
a. Biaya : Rp 12,000,000  
b. Sumber Lain : -  
c. Biaya yang disetujui : Rp 9,500,000
- Jumlah : Rp 9,500,000

Telah Disetujui



Dekan & Kepala LPPM

Semarang, 20 January 2021  
Peneliti

Dr. Abdul Rochim, ST., MT.  
NIK 210200031

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	1
LEMBAR PENGESAHAN .....	2
DAFTAR ISI .....	3
RINGKASAN .....	5
BAB 1 PENDAHULUAN .....	5
1.1 Latar Belakang .....	5
1.2 Pemasalahan .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Batasan Penelitian .....	6
1.5 Target Luaran Penelitian .....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	8
2.1 Klasifikasi dan Karakterisasi Tanah .....	8
2.2 Konsistensi Tanah dan Nilai N-SPT .....	9
2.3 Kelas Situs Tanah .....	10
2.4 Penelitian Sejenis Terdahulu .....	11
2.5 Road Map Penelitian .....	13
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	14
3.1 Data Sekunder Data Tanah .....	14
3.2 Alat Uji .....	14
3.3 Program Plaxis Pemodelan <i>Preloading</i> PVD .....	15
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	18
4.1 Lokasi Penelitian .....	18
4.2 Kedalaman Tanah Lunak .....	23
4.3 Kelas Situs Tanah .....	25
4.4 Karakter Tanah Berdasarkan Parameter Tanah c dan $\phi$ .....	26

4.5	Karakter Tanah Berdasarkan Kadar Air dan Plastisitas Tanah .....	27
4.6	Karakter Tanah Berdasarkan Klasifikasi Tanah .....	28
4.7	Penentuan Tinggi atau Besar Beban Preloading .....	28
4.8	Estimasi Besar Penurunan Tanah .....	31
4.9	Perbaikan Tanah Lunak .....	32
4.10	Estimasi Waktu Penurunan Tanah .....	33
4.11	Analisis dengan Program Plaxis .....	36
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>37</b>
5.1	Kesimpulan .....	37
5.2	Saran .....	37
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>38</b>

## RINGKASAN

Sebaran tanah lunak di Indonesia diperkirakan 20 juta hektar atau 10 persen luas daratan Indonesia, dengan dengan sebaran terbesar pada pulau Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Di pulau Jawa sendiri sebaran tanah lunak berada di bagian utara Jawa seperti di kota Semarang bagian pesisir atau hilir. Tanah lunak dengan karakteristik daya dukung rendah dan penurunan yang besar ini tidak cocok digunakan sebagai pondasi karena dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan di atasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi tanah dasar di kota Semarang Bawah, memprediksi penurunan tanah dasar tersebut dan memberikan model perbaikan / perkuatan tanahnya untuk menaikkan daya dukung tanah. Penelitian ini menggunakan data hasil pengujian tanah dasar dari beberapa lokasi di Semarang Bawah. Sebanyak delapan belas data lokasi yang dijadikan sampel yang dianalisis untuk mendapatkan gambaran umum tentang sifat tanah dasar. N-SPT, ketahanan konus qc, dan propertis tanah digunakan untuk menentukan kedalaman tanah lunak, tipe profil tanah, dan klasifikasi tanah. Untuk memprediksi penurunan, tanah dasar dimodelkan dengan memberikan beban prakompresi sebesar 80 kPa dan dengan memperhitungkan faktor keamanan sama dengan 3. Perangkat lunak geoteknik dioperasikan untuk memvalidasi perhitungan manual. Berdasarkan hasil analisis sebagian besar Semarang Bawah didominasi tanah lunak dengan kedalaman 20 m sampai 40 m. Profil tanah berkisar dari SE sampai SD dan klasifikasi tanah berkisar dari lempung plastisitas rendah sampai tinggi (CL, CH). Perkiraan penurunan tanah dasar sekitar 0.89 m sampai dengan 1.93 m, dengan lamanya penurunan berkisar antara 191 tahun s.d 21 tahun. Dengan perbaikan tanah menggunakan *prefabricated vertical drain* (PVD) dan beban *preloading* waktu penurunan menjadi 96 hari dengan pola pemasangan segitiga dengan jarak spasi PVD 1.6 meter.

Kata Kunci: Tanah lunak, daya dukung tanah, penurunan tanah, perbaikan tanah, PVD

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam perspektif Teknik Sipil, tanah bermasalah (*problematic soils*) ada lima macam. Disebut tanah bermasalah karena jika digunakan langsung sebagai tanah dasar pondasi atau sebagai bahan bangunan akan menimbulkan problema. Salah satu tanah bermasalah ini yaitu tanah lunak jenuh air (*soft soil*). Tanah lunak ini mempunyai karakteristik utamanya yaitu daya dukung / stabilitas tanah yang sangat rendah dan penurunan / pemampatan tanah yang besar. Dengan kondisi seperti ini tidak dianjurkan menempatkan bangunan di atas tanah lunak karena jika dipaksakan akan menimbulkan kuruntuhan bangunan. Selain kerugian secara finansial, kerugian lain yang lebih buruk yaitu dapat menimbulkan kematian.

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002), dari keseluruhan luas daratan Indonesia, sekitar 20 juta ha atau 10 persen diperkirakan adalah tanah lunak. Tanah lunak ini sebaran terbesarnya ada pada pulau Kalimantan, Sumatera, dan Papua. Sementara itu sebaran tanah lunak pada pulau Jawa ada pada bagian utara pulau Jawa yang berbatasan dengan wilayah pesisir. Dalam Satibi (2009), luas tanah lunak di Indonesia berkisar 60 juta ha atau sekitar 30% luas daratan Indonesia yang berjumlah 198.6 juta ha.

Beberapa contoh kegagalan bangunan pada tanah lunak diantaranya sebagai berikut: 1) turunnya permukaan tanah oprit jembatan (Azis, 2018). Pada bagian jembatan utama tidak terjadi penurunan karena pondasi jembatan diletakkan pada tanah keras, tetapi tidak demikian pada bagian oprit jembatan yang tidak menggunakan sistem pondasi yang sama dengan jembatan. Tanah dasar oprit diletakkan pada tanah dasar tanah lunak sehingga dengan berjalannya waktu oprit mengalami penurunan yang besar yang mengakibatkan terjadinya patahan antara batas jalan jembatan dan jalan oprit, 2) Amblesnya jalan tol Palembang –

Indralaya (Palindra) sepanjang 30 meter (Ariyanti, 2017). Jalan tol ini dibangun di atas tanah lunak jenuh air pada tahun 2015 dan butuh selesai pada Oktober 2017. Dikabarkan keruntuhan jalan ini salah satunya dikarenakan faktor konsolidasi tanah yang tidak sempurna.

Beberapa penelitian tentang perbaikan tanah (*ground improvement*) dengan atau tanpa menggunakan tambahan material diantaranya 1) dengan tambahan material: Afif dkk. (2019), Menard (2019), Pratama dkk. (2019), 2) tanpa tambahan material: Mission etc. (2012), Long etc. (2013), Long etc. (2015), Seah etc (2016), Dong (2018). Dari penelitian-penelitian terdahulu tersebut diatas memerlukan sekali data kedalaman tanah lunak, daya dukung tanah, dan penurunan tanahnya. Pada kelompok penelitian pertama tanpa merubah sifat tanah lunak ini struktur atau pondasi dibiarkan diletakkan pada tanah lunak tersebut sementara pondasi atau strukturnya dibuat seringan mungkin sehingga penurunan masih kecil. Sebaliknya pada kelompok kedua, tanah lunak dipadatkan terlebih dahulu dengan cara dikonsolidasi dengan salah satunya perbaikan tanah *preloading Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk menaikkan daya dukung tanah sehingga struktur atau pondasi yang berat tidak mengalami penurunan yang besar.

## **1.2 Permasalahan**

Kondisi di lapangan yang ada sekarang ini menggunakan teknologi pelaksanaan konstruksi kedua-duanya sehingga adanya data base sangat bermanfaat untuk keperluan perancangan pondasi bangunan. Besar dana investasi bisa diperkirakan dari informasi ini. Pemetaan tanah lunak di Semarang yang berisi data base tentang kedalaman tanah lunak, daya dukung tanah, dan penurunan yang mungkin terjadi sayangnya belum banyak dibahas sehingga penelitian perlu dilakukan yang hasilnya bisa sebagai sumber kedua (*second opinion*). Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan di atas, penulis bermaksud untuk mengkarakterisasi tanah dasar di kota Semarang Bawah, memprediksi penurunan tanah dasar tersebut dan memberikan model perbaikan / perkuatan tanahnya untuk menaikkan daya dukung tanah sebagai bagian data base tanah dasar kota Semarang

## **1.3 Tujuan Penelitian**

- 1) Mengkarakterisasi tanah dasar di kota Semarang baik Semarang Atas maupun Semarang bawah yang berisi data: lokasi tanah lunak, kedalaman tanah lunak, dan kelas situs tanah



- 2) Menganalisis atau memprediksi penurunan tanah dasar kota Semarang Bawah
- 3) Menganalisis alternatif perbaikan / perkuatan tanah pondasi tanah lunak untuk mengetahui besar dan lama penurunan

#### **1.4 Batasan Penelitian**

- 1) Data tanah yang digunakan hanya data sekunder hasil pengeboran sondir / SPT
- 2) Lokasi penelitian hanya pada kota Semarang
- 3) Perbaikan tanah yang digunakan yaitu perbaikan tanah tanpa adanya tambahan material dengan *preloading* PVD untuk menentukan besar dan lama penurunan tanah

#### **1.5 Target Luaran Penelitian**

Dalam menentukan pondasi yang tepat untuk suatu bangunan, perlu adanya pengujian tanah baik di lapangan maupun di laboratorium. Hasil *output* penelitian ini dapat dijadikan *second opinion* bagi perseorangan atau pekerja jasa konstruksi dalam tahap investigasi karakteristik tanah dasar atau dalam menentukan pondasi yang digunakan. Penelitian ini bersifat mitigasi bencana alam yang *in line* dengan bidang unggulan penelitian Fakultas Teknik UNISSULA dengan keluarannya:

- 1) Karakter tanah dasar dan tanah lunak kota Semarang
- 2) Data base tanah lunak di kota Semarang sebagai input untuk peta tanah lunak di wilayah Semarang dengan model perkuatan tanah pondasinya

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bagian ini dijelaskan beberapa referensi yang mendukung metode penelitian guna merealisasikan tujuan penelitian. Diawali dengan klasifikasi tanah dan gambaran umum perbedaan sifat tanah granular dan tanah kohesif kemudian dilanjutkan dengan beberapa perbaikan tanah yang telah dilakukan di atas tanah lunak. Berikutnya adalah perhitungan situs kelas tanah, konsolidasi dan penurunan tanah, serta pemodelan perbaikan tanah dengan Plaxis. Di bagian akhir diterangkan beberapa penelitian terdahulu yang sejenis.

### **2.1 Klasifikasi dan Karakteristik Tanah**

Perilaku atau sifat tanah bisa terbaca salah satunya dari klasifikasi tanah tersebut. Pentingnya mengetahui sifat tanah dalam perencanaan pondasi atau pekerjaan geoteknik lainnya maka menjadi suatu kewajiban melakukan pengujian tanah baik lapangan maupun laboratorium untuk mendapatkan klasifikasi tanahnya. Beberapa sistem klasifikasi tanah untuk keperluan keteknikan yang ada sampai saat ini antara lain: 1) *United States Department of Agriculture* (USDS), 2) *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), 3) *Unified Soil Classification System* (USCS), dan 4) *British System* (BS). Sistem AASHTO umumnya digunakan oleh departemen jalan raya sementara USCS dan BS biasa digunakan oleh para insinyur geoteknik. Berbeda dengan cara pengelompokkan jenis tanah sistem USCS, sistem AASHTO membagi jenis tanah kedalam empat macam tanah seperti sistem USCS tetapi berbeda skala ukuran partikelnya. Jika USCS batas ukuran antara

kerikil dan pasir adalah 4.74 mm, AASHTO batas ukuran antara kerikil dan pasir 2 mm (Gambar 2.1). Perbedaan lainnya yaitu penamaan atau simbol klasifikasi tanahnya, jika USCS berdasarkan gabungan huruf depan nama tanahnya seperti kerikil (G), pasir (S), lanau (M), dan lempung (C), sistem AASHTO membagi ke dalam tujuh simbol: A1 – A7, dengan A1 – A3 adalah dominan tanah berbutir kasar, dan A4 – A7 tanah berbutir halus (Tabel 2.1). Perilaku tanah bisa diprediksi untuk keperluan praktis berdasarkan ukuran butirannya sehingga secara garis besar sifat tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar sangat berbeda. Sebagai contoh tanah lempung jenuh air ketika menerima beban luar (aksi) akan memberikan reaksi yang berbeda dibandingkan dengan tanah pasir jenuh air. Kenaikan kuat geser tanah tak terdrainase tanah lempung jenuh air akan lebih lambat dibandingkan tanah pasir tersebut.

USDA	FINE EARTH										ROCK FRAGMENTS													
	Clay		Silt			Sand					Gravel			Cob- bles	Stones	Boulders								
	fine	co.	fine	co.	v.R.	E.	med.	co.	v.	co.	fine	medium	coarse											
millimeters:	0.0002	0.02 mm	.02	.05	.1	.25	.5	1	2	mm	5	20	76	250 mm	600 mm									
U.S. Standard Sieve No. (opening):			300	140	60	35	18	10	4	(3/4")	(1")	(1 1/2")	(2")											
International	Clay		Silt		Sand					Gravel			Stones											
millimeters:	0.02 mm		.02		.25					2 mm			20 mm											
U.S. Standard Sieve No. (opening):										10			(3/4")											
Unified	Silt or Clay				Sand				Gravel		Cobbles	Boulders												
millimeters:					.075		.42		2 mm		4.75		75	300 mm										
U.S. Standard Sieve No. (opening):					200		40		10		4		(3/4")	(1")										
AASHTO	Clay		Silt		Sand			Gravel or Stones			Broken Rock (angular), or Boulders (rounded)													
millimeters:	.005 mm		.075		.42		2 mm		7.5		25		75 mm											
U.S. Standard Sieve No. (opening):			200		40		10		(20")		(1")		(1 1/2")											
Modified Wentworth	phi #:																							
	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-12	
	clay		silt				sand					pebbles			cobble		boulders							
millimeters:	.00025	.002	.004	.008	.016	.031	.062	.125	.25	.5	1	2	4	8	16	32	64	126	250				4000 mm	
U.S. Standard Sieve No.:																								

Gambar 2.1 Skala ukuran butiran tanah beberapa sistem klasifikasi tanah (Soil Science Division Staf, 2017)

Tabel 2.1 Komparasi antara sistem AASHTO dengan sistem USCS (Das, 2009)

Soil Group in AASHTO System	Comparable Soil Groups in USCS		
	Most Probable	Possible	Possible but Improbable
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-b	SW, SP, GM, SM	GP	—
A-3	SP	—	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	—	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	—	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	—	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

## 2.2 Konsistensi Tanah dan Nilai N-SPT

Penentuan kedalaman tanah lunak pada penelitian ini mengacu pada Tabel 2.2 yang mengkorelasikan konsistensi tanah berdasarkan nilai uji tanah N-SPT. Data tanah hasil uji lapangan biasanya menggunakan N-SPT (tanpa satuan) atau tekanan konus  $q_c$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Jika data tanah yang tersedia menggunakan N-SPT maka Tabel 2 bisa langsung digunakan, tetapi jika data yang ada menggunakan tekanan konus  $q_c$  maka bisa dikonversi ke N-SPT dengan rumus empiris  $N\text{-SPT} = q_c (\text{kg}/\text{cm}^2) / 4$ .

Tabel 2.2. Konsistensi tanah berdasarkan nilai N-SPT (Terzaghi and peck, 1967)

Consistency	SPT-N	$q_u$ (kPa)
Very soft	< 2	< 25
Soft	2- 4	25 - 50
Medium	4 - 8	50 - 100
Stiff	8 - 15	100 - 200
Very stiff	15 - 30	200 - 400
Hard	> 30	> 400

## 2.3 Kelas Situs Tanah

Untuk menentukan kelas situs tanah di suatu lokasi dibutuhkan data tanah paling tidak dengan kedalaman 30 meter. Kelas situs tanah bisa ditentukan dengan menggunakan data antara lain N-SPT rata, kecepatan rambat gelombang geser rata-rata  $V_s$ , dan kuat geser tanah rata-rata  $S_u$  seperti yang disajikan pada Tabel 2.3.

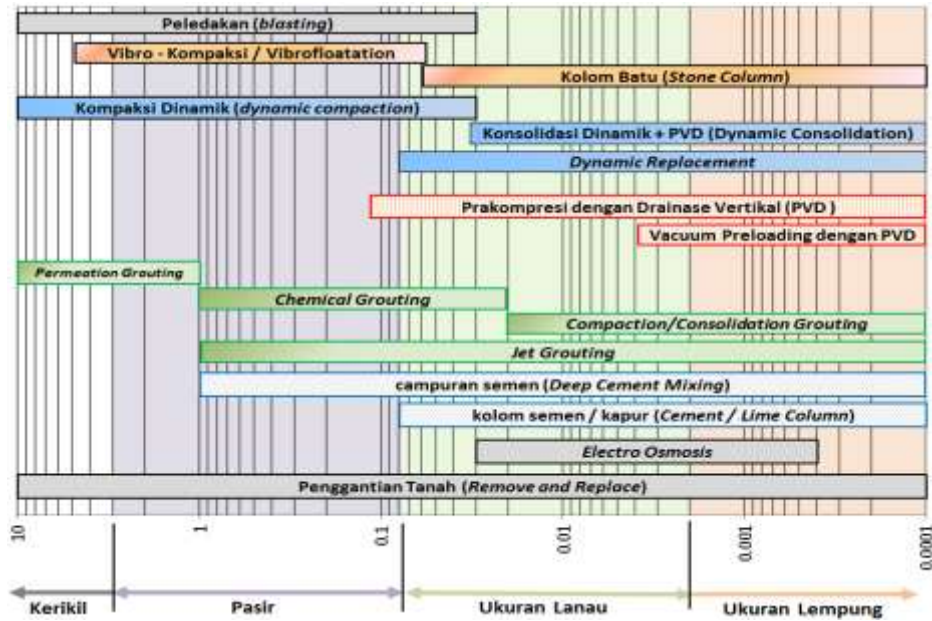
Tabel 2.3. Klasifikasi kelas situs tanah (SNI-1726-2019)

Kelas Situs	$\bar{v}_z$ (m/s)	$\bar{N}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{v}_z \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{v}_z \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{v}_z \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{v}_z \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{v}_z < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air ( $w$ ) $\geq 40\%$ , dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa		
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan $> 3$ m) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7.5$ m dengan $PI > 75$ ) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

## 2.4 Metode Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah (*ground improvement*) bisa dilakukan dengan tambahan material (*additional material*) dan atau tanpa tambahan material. Sebagai contoh perbaikan tanah dengan tambahan material yaitu diantaranya *Stone Column*, *Controlled Modulus Column* (CMC), Kolom Grout Modular (KGM), Minipile dengan Platform. Untuk contoh perbaikan tanah tanpa tambahan material yaitu diantaranya vertical drain, vacuum consolidation, dynamic compaction, vibro compaction seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Metode perbaikan tanah berdasarkan ukuran butiran tanah

## 2.4 Penelitian Sejenis Terdahulu

Pada Tabel 2.4 disajikan daftar penelitian terdahulu kajian tentang perbaikan tanah dengan tambahan material dan atau tanpa material tambahan.

Tabel 2.4 Daftar Penelitian Sejenis Terdahulu

No	Nama Penulis	Judul Artikel	Judul Jurnal	Tujuan Penelitian
1.	Puri A, Ardiansyah R. (2008)	Pemetaan Konsistensi Tanah dan Perkiraan Jenis Pondasi di Kota Pekanbaru	Jurnal Sainstis Vol. 10 No. 1 April 2018 pp. 11-20	Penelitian ini membuat peta tentang konsistensi tanah, penyebaran dan kedalamannya yang didasarkan atas data sondir, serta perkiraan pondasinya berdasarkan titik data yang ada dengan interpolasi serta observasi
2.	Eriyanto D, Priadi E, Purwoko B (2016)	Pemetaan Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT di Kota	Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura, Vol. 3 No. 3 2016	Tujuan dari kajian ini adalah untuk menggambarkan keadaan konsistensi tanah tiap-tiap

		Pontianak		kedalaman di wilayah Pontianak dengan menggunakan data sekunder hasil penyelidikan tanah dengan metode SPT. Hasil analisis diketahui keadaan tanah pada kota Pontianak merupakan jenis tanah liat yang sangat labil dan mempunyai daya dukung tanah yang rendah, perlu mencapai kedalaman tertentu untuk mendapatkan kondisi tanah yang mempunyai daya dukung tanah yang kuat.
3.	Lastiasih Y, Sari PTK (2019)	Pemetaan Tanah Lunak Di Surabaya Timur Untuk Perkuatan Tanah Menggunakan Vertical Drain,	Proc. 23 <sup>rd</sup> Annual Indonesian National Conference on Geotechnical Engineering, Jakarta 12-13 November 2019	Membuat database tanah lunak di kota Surabaya yang berisi data kedalaman tanah lunak, besar dan lama penurunan tanah

Pada penelitian-penelitian terdahulu ini berbeda dengan yang akan dilakukan oleh penulis dalam hal parameter tanah dan lokasi yang diteliti. Lastiasih Y, Sari PTK (2019) melakukan penelitian di kota Surabaya dengan beberapa parameter yang sama dengan penelitian penulis hanya saja penelitian Lastiasih Y, Sari PTK (2019) ini belum membahas tentang daya dukung pada database tanah lunak. Pada penelitian baru yang akan dilakukan penulis ini mengambil lokasi di kota Semarang dengan menambahkan fitur daya dukung tanah pada database.

## 2.5 Road Map Penelitian

Berikut adalah penelitian-penelitian yang pernah dilakukan oleh tim peneliti. Seluruh penelitian yang ada (Gambar 2.3) mengambil tema tentang rekayasa geoteknik yaitu

stabilitas dan penurunan tanah, dua hal yang penting untuk diketahui dan dicarikan model solusi yang tepat untuk mengurangi kegagalan konstruksi.



Gambar 2.3 Road Map Penelitian



### **BAB 3. METODE PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan secara detail bahan, alat, dan langkah penelitian untuk merealisasikan tujuan penelitian. Pertama sekali pengumpulan data sekunder yaitu data tanah daerah kota Semarang yang akan dianalisis berapa kedalaman tanah lunaknya, dan kelas situs tanahnya. Selanjutnya dari data tanah tersebut akan dihitung berapa besarnya dan lamanya kemungkinan penurunan yang terjadi menggunakan beberapa teori. Dengan program aplikasi Plaxis dimodelkan beberapa alternatif perbaikan tanah *preloading* PVD untuk menghitung lama penurunan untuk besar penurunan tanah tertentu. Setelahnya data base tanah lunak di kota Semarang yang berisi data: lokasi tanah lunak, kedalaman tanah lunak, dan kelas situs tanah, besar dan lama penurunan, perbaikan tanah, dan daya dukung tanah tersebut dipetakan. Urutan penelitian disajikan secara detail dalam Diagram Alur Penelitian pada Gambar 3.1.

#### **3.1 Data Sekunder Data Tanah**

Data tanah yang digunakan untuk penelitian ini yaitu data tanah di kota Semarang khususnya di Semarang bagian hilir yang mengandung lapisan tanah lunak yang cukup tebal. Tanah lunak dengan kedalaman yang cukup tebal (minimum 8 meter) yang diutamakan untuk dianalisis. Jika lapisan tanah lunak tersebut tidak cukup tebal tetap akan dimasukkan dalam database tetapi dengan data analisis tidak selengkap tanah dengan kedalaman lebih dari 8 meter. Data tanah ini bervariasi bisa berasal dari pengujian lapangan menggunakan sondir atau SPT. Data tanah ini didapatkan dari Lab. Geoteknik Fakultas Teknik UNISSULA.

Pada tahap ini dilakukan beberapa kegiatan yaitu:

- 1) Observasi lokasi dimana data sekunder diambil
- 2) Pemilihan parameter tanah untuk digunakan dalam analisis
- 3) Penentuan kedalaman tanah lunak dan perhitungan kelas situs tanah
- 4) Analisis besar dan lama penurunan tanah
- 5) Analisis daya dukung tanah

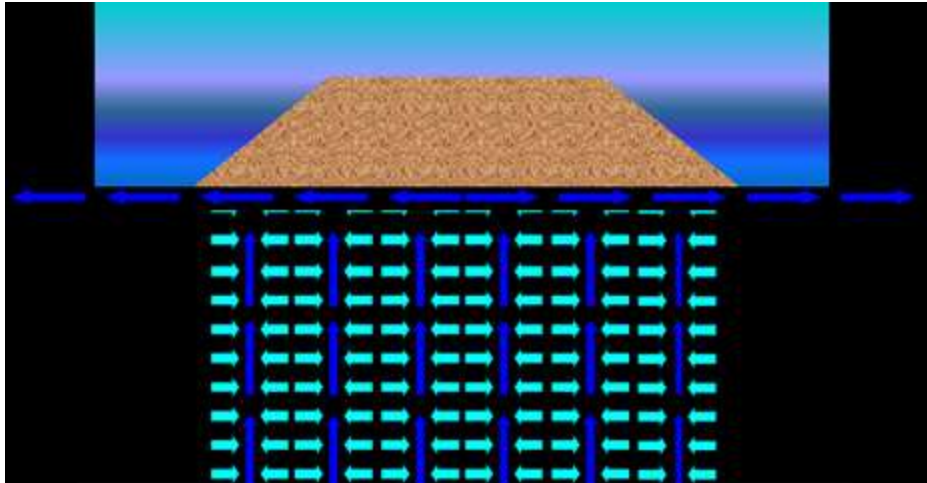
### 3.2 Alat Uji

Dalam rangka untuk menjawab tujuan penelitian ini, untuk menganalisis data tanah yang ada selain perhitungan yang dilakukan secara manual juga digunakan program aplikasi komputer. Berikut penjelasannya:

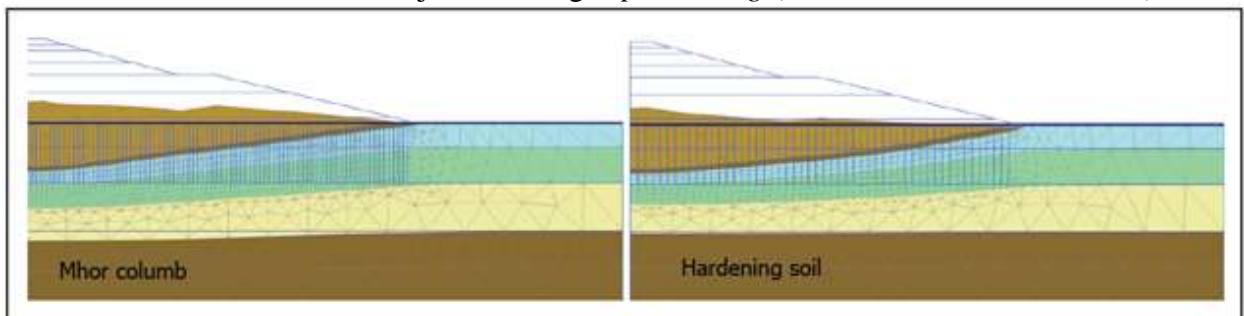
- 1) Perhitungan manual dibantu dengan program Excel guna membuat data base tanah lunak yang meliputi lokasi tanah lunak, kedalaman tanah lunak, situs kelas tanah, besar dan lama penurunan, dan daya dukung tanah.
- 2) Analisis menggunakan program aplikasi Plaxis untuk menghitung besar dan lamanya penurunan tanah serta memodelkan beberapa alternative perbaikan / perkuatan tanah

### 3.3 Program Plaxis Pemodelan *Preloading* PVD

Dalam rangka untuk mengetahui besar dan lama penurunan tanah bisa dilakukan dengan cara konsolidasi tanah. Tujuan utama konsolidasi tanah yaitu untuk menaikkan daya dukung tanah yang disertai dengan perubahan volume tanah atau terjadi penurunan tanah. Konsolidasi tanah bisa dilakukan dengan beberapa metode yaitu dengan *vacuum consolidation method* (VCM) dan *preloading* menggunakan PVD. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis penurunan tanah menggunakan PVD menggunakan perhitungan manual dan program Plaxis. Pada bagian ini akan dijelaskan konsep cara kerja PVD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pada input Plaxis seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.2, tanah dasar diberi PVD dan dibantu dengan tanah timbunan sebagai media untuk mendisipasi air pori tanah. Tampak pada Gambar 3.2 tanah timbunan dibagi menjadi beberapa lapisan yang disebut sebagai konstruksi bertahap (*stage construction*) yang dikarenakan kondisi tanah dasar yang lunak. Jika tanah timbunan tinggi diaplikasi dalam satu tahap maka akan terjadi keruntuhan tanah timbunan dan konsolidasi tanah tidak bisa berlangsung dengan sempurna.



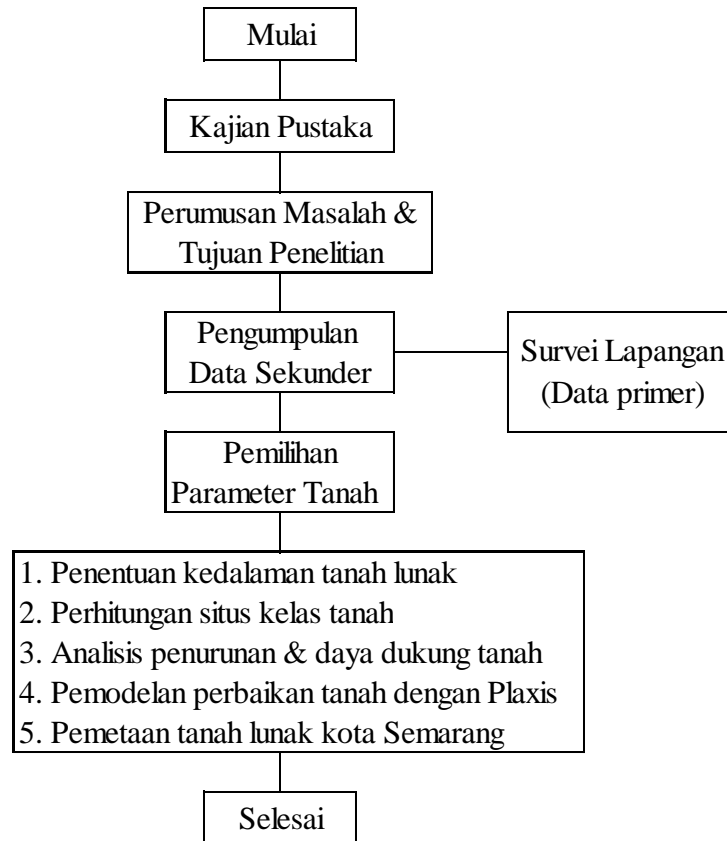
Gambar 3.1 Ilustrasi cara kerja PVD dengan *preloading* (Lastiasih Y, Sari PTK, 2019)



Gambar 3.2 Pemodelan PVD dengan Plaxis (Maulana, RW dkk. 2016)

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian ini disajikan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

#### **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

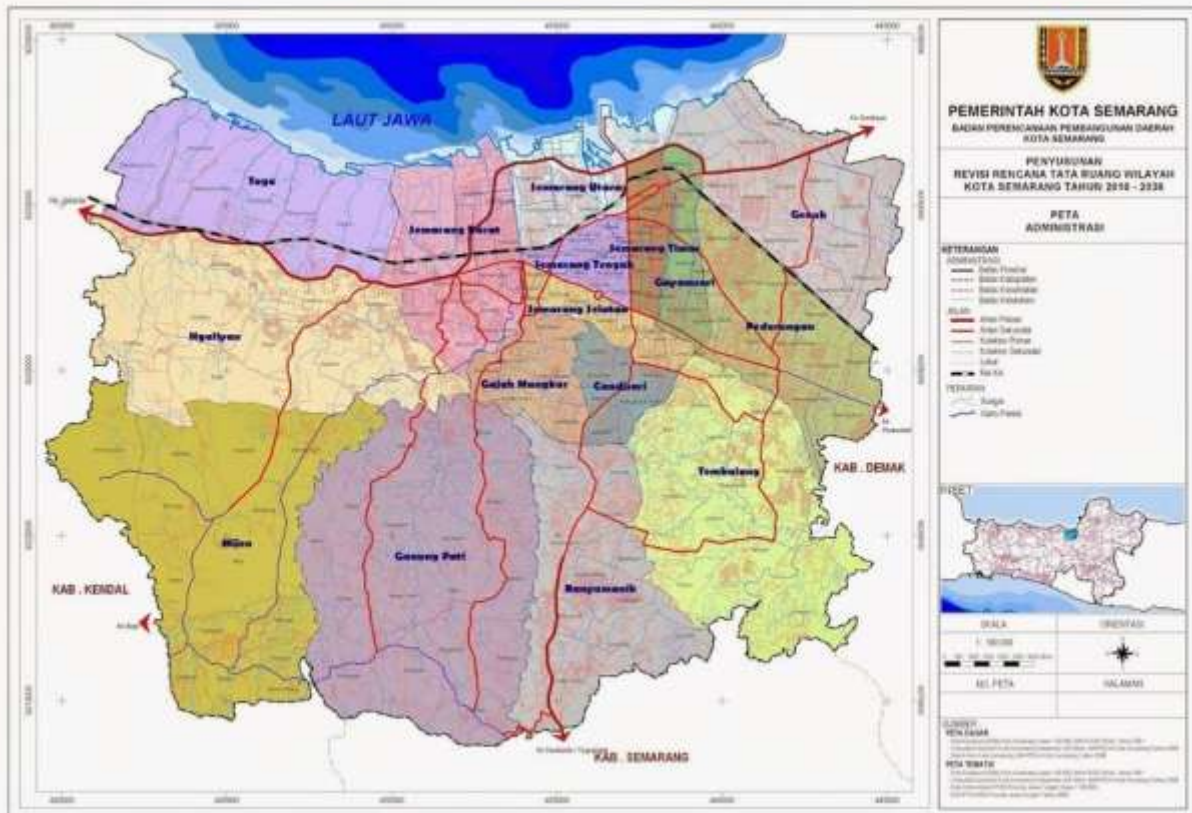
Pada bagian ini akan dijelaskan lokasi-lokasi di kota Semarang Bawah dimana data tanah diambil (data sekunder) yang dipakai dalam penelitian ini, beberapa lokasi yang berbeda ketinggiannya dari muka air laut (kota Semarang Atas) diambil juga untuk dikomparasi. Selanjutnya dari setiap lokasi tersebut akan ditentukan kedalaman tanah lunak dengan konsistensi minimum tanah medium (dengan menggunakan parameter tanah N-SPT atau perlawanan konus qc) yang penulis buat pada batasan masalah. Berikutnya analisis kelas situs tanah di suatu lokasi berdasarkan nilai N-SPT (SNI-1726-2019), yang hasilnya untuk mengetahui

konsistensi tanahnya apakah digolongkan sebagai tanah lunak atau tidak. Hasil analisis ini juga berguna untuk mengetahui besarnya amplifikasi percepatan gempa di permukaan tanah. Kajian teknis berikutnya akan dilakukan terhadap beberapa parameter tanah dengan urutan sebagai berikut: 1) klasifikasi tanah, 2) parameter kuat geser tanah  $c$  dan  $\phi$ , 3) kadar air dan nilai plastisitas. Selanjutnya analisis penurunan tanah dengan memodelkan percepatan konsolidasi tanahnya menggunakan *prefabricated vertical drain* (pvd) dan *preloading*.

#### **4.1 Lokasi Penelitian**

Keberadaan tanah lunak di pulau Jawa banyak dijumpai pada area di sepanjang pantai utara Jawa (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2020). Secara topografi kota Semarang terdiri atas daerah pantai, dataran rendah dan perbukitan, sehingga memiliki wilayah yang disebut sebagai kota bawah dan kota atas (Bappeda Kota Semarang, 2005). Dari definisi ini daerah pantai dan dataran rendah dapat dikategorikan sebagai kota bawah sebaliknya perbukitan dikategorikan sebagai kota atas. Kota bawah dan kota atas ini berdasarkan definisi Bappeda Kota Semarang (2005) ini merujuk ketinggian lokasinya dari muka air laut (mdpl). Dalam penelitian ini, penulis mendefinisikan kota Semarang Atas dan Semarang Bawah berdasarkan ketinggian lokasinya dari muka air laut juga. Secara administratif, kota Semarang terbagi menjadi 16 kecamatan (Gambar 4.1) dan ketinggian lokasi di Semarang terhitung dari muka air laut berdasarkan kecamatannya (Open Data Kota Semarang, 2018) disajikan pada Tabel 4.1. Dilihat dari ketinggian dari muka air laut, 11 area kota Semarang di bawah 11 meter sementara 5 lainnya berada di atas ketinggian 100 meter bahkan 3 area di ketinggian 300 meter. Jika melihat peta kecamatan yang ada terlihat bahwa informasi yang disajikan pada Tabel 4.1 kecamatan yang mdpl nya di bawah 11 meter berada pada bagian utara Semarang yang dekat dengan Pantai Utara Jawa. Lokasi-lokasi ini setiap tahunnya mengalami banjir baik banjir akibat hujan atau banjir akibat air pasang. Berdasarkan Bappeda Kota Semarang (2005), beberapa lokasi ini: Candi baru, Jatingaleh, Gombel, Mijen, dan Gunungpati dikategorikan perbukitan atau Semarang Atas yang memiliki ketinggian mdpl antara 90.56 meter – 348 meter. Berangkat dari hal ini di penelitian ini, penulis memberi batasan bahwa Semarang Bawah, sebagai lokasi penelitian, adalah area punya potensi untuk banjir setiap tahunnya dengan ketinggian kurang dari 10 meter, sebaliknya yang memiliki ketinggian lebih dari 10 meter didefinisikan sebagai Semarang Atas. Dari informasi ketinggian seperti yang disajikan pada Tabel 4.1 dari 16 kecamatan, 11 kecamatan

didefinisikan sebagai kota Semarang bawah (ketinggian mdplnya < 11 meter). Dari batasan ini jika melihat jumlah kecamatannya dapat disimpulkan kota Semarang didominasi oleh Semarang Bawah, tetapi menurut luasan wilayahnya seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.2, luas total kota Semarang Bawah hanya 145.1 km<sup>2</sup> (38.83%). Dari kepadatan penduduk, Semarang Bawah memiliki kepadatan yang lebih besar sebagai konsekuensi Kota Bawah sebagai pusat kegiatan pemerintahan, perdagangan, perindustrian, pendidikan dan kebudayaan.



Gambar 4.1. Peta kecamatan kota Semarang (Bappeda Kota Semarang, 2010)

Tabel 4.1 Tinggi Wilayah di Atas Permukaan Laut (DPL)  
Menurut Kecamatan di Kota Semarang Tahun 2016 (Bappeda Semarang, 2005)

No	Kecamatan	Ibukota Kecamatan	Tinggi (m)	No	Kecamatan	Ibukota Kecamatan	Tinggi (m)
1	Mijen	Mijen	311	9	Genuk	Gebangsari	2
2	Gunungpati	Gunungpati	300	10	Gayamsari	Gayamsari	3.5
3	Banyumanik	Banyumanik	300	11	Semarang Timur	Rejosari	2
4	Gajah Mungkur	Gajah Mungkur	150	12	Semarang Utara	Panggung Lor	1
5	Semarang Selatan	Lamper Kidul	6	13	Semarang Tengah	Miroto	2
6	Candisari	Jatingaleh	2.5	14	Semarang Barat	Karangayu	3
7	Tembalang	Tembalang	125	15	Tugu	Tugurejo	1
8	Pedurungan	Gemah	6	16	Ngaliyan	Ngaliyan	11

Tabel 4.2 Luas Wilayah dan Kedapatan Penduduk Menurut Kecamatan di Kota Semarang Tahun 2016 (Bappeda Semarang, 2005)

No	Kecamatan	Luas Wilayah (km)	Kepadatan Penduduk (/km <sup>2</sup> )	Klasifikasi Kepadatan*
1	Mijen	57.55	0.76	rendah
2	Gunungpati	54.11	1.148	rendah
3	Banyumanik	25.69	4.349	sangat padat
4	Gajahmungkur	9.07	6.662	sangat padat
5	Semarang Selatan	5.93	14.453	sangat padat
6	Candisari	6.54	12.317	sangat padat
7	Tembalang	44.2	2.62	tinggi
8	Pedurungan	20.72	7.453	sangat padat
9	Genuk	27.39	2.636	tinggi
10	Gayamsari	6.18	10.794	sangat padat
11	Semarang Timur	7.7	10.865	sangat padat
12	Semarang Utara	10.97	11.371	sangat padat
13	Semarang Tengah	6.14	12.581	sangat padat
14	Semarang Barat	21.74	7.146	sangat padat
15	Tugu	31.78	0.804	rendah
16	Ngaliyan	37.99	2.619	tinggi
Jumlah		373.7		

\*) Standar Nasional Indonesia. SNI 03-1733-2004

Penelitian ini mengambil lokasi baik di Semarang Bawah maupun di Semarang Atas. Data tanah di lokasi ini bersumber dari data sekunder. Beberapa tanah di lokasi Semarang Atas diteliti untuk dikomparasi dengan tanah-tanah di Semarang Bawah. Hasil perbandingan ini dapat memperjelas karakteristik tanah di dua area tersebut. Di area Semarang Bawah 18 lokasi dijadikan sampel

yang akan dianalisis, sedangkan dari area Semarang Atas sampel yang diambil ada 7 lokasi. Sampel lokasi tersebut tersebar dengan jarak antar titik jauh tetapi beberapa titik berjarak dekat. Lokasi-lokasi sampel di area Semarang Bawah dan Semarang Atas disajikan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 masing-masing. Untuk memudahkan pembacaan data tiap lokasi diberi kode 1-18 untuk Semarang Bawah dan 1-7 untuk Semarang Atas. Pada tabel hasil analisis dan tabel parameter tanah selanjutnya kode ini yang akan dipakai menggantikan lokasi sampel tersebut.

Tabel 4.3 Lokasi Penelitian di Area Kota Semarang Bawah

<b>Kode</b>	<b>Lokasi Penelitian</b>	<b>Kecamatan</b>
1	Kolam Retensi & Rumah Pompa Kampung Bahari, Tambak Lorok	Semarang Utara
2	RSIGM Sultan Agung, Jl. Kaligawe Km 4 Semarang	Gayamsari
3	Gedung Polairud, Kalibaru Barat Pelabuhan Tanjung Semarang	Semarang Utara
4	Jembatan Pasar Kubro, Jl. Arteri Yos Sudarso Semarang	Gayamsari
5	Gedung Asrama Mahasiswa UNISSULA, Jl. Raya Kaligawe	Gayamsari
6	Gedung Kuliah Bersama UNISSULA, Jl. Raya Kaligawe	Gayamsari
7	Gedung RSISA, Jl. Raya Kaligawe Semarang	Gayamsari
8	Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang	Semarang Barat
9	Tower Menara Multi Fungsi, Kawasan Terboyo Raya Blok ABC	Semarang Barat
10	DEPO 2, Jl. Arteri Yos Sudarso Semarang	Gayamsari
11	Tanjung Laut Puri Anjasmoro, Bandara Internasional Ahmad Yani	Genuk
12	Jl. Madukoro Raya Semarang, Perlintasan Kereta Api	Semarang Barat
13	Jl. Madukoro Raya Semarang, Fly over Ahmad Yani #1	Semarang Barat
14	Jl. Madukoro Raya Semarang, Fly over Ahmad Yani #2	Semarang Barat
15	Gedung BPBD, Jl. Imam Bonjol Semarang	Semarang Utara
16	Gedung Direktorat Bea Cukai, Jl. Ahmad Yani Semarang	Semarang Tengah
17	Gedung Kos 6 Lantai, Jl. Dr. Cipto Semarang	Semarang Selatan
18	Kalibanger, Kemijen Semarang Timur	Semarang Barat



Tabel 4.4 Lokasi Penelitian di Area Kota Semarang Atas

<b>Kode</b>	<b>Lokasi Penelitian Semarang Atas</b>	<b>Kecamatan</b>
1	Gedung baru Fakultas Sospol, Kampus 3 UIN Walisongo	Ngaliyan
2	Gedung baru Fakultas Sains, Kampus 3 UIN Walisongo	Ngaliyan
3	Gedung baru Fakultas Tarbiyah, Kampus 3 UIN Walisongo	Ngaliyan
4	Gedung Perpustakaan baru, Kampus 3 UIN Walisongo	Ngaliyan
5	Gedung Kantor DISHUBKOMINFO, Jl. Tambak Aji Raya No. 5	Ngaliyan
6	GOR Jatidiri, Gajahmungkur Semarang	Gajahmungkur
7	Gandhi Memorial Intercontinental School Grha Candi Golf	Candisari

Menurut Bappeda Kota Semarang (2005), Kota Semarang Bawah sebagian besar tanahnya terdiri dari pasir dan lempung dengan pemanfaatan lahannya lebih banyak digunakan untuk jalan, permukiman atau perumahan, bangunan, halaman, kawasan industri, tambak, empang dan persawahan. Berbeda dengan Semarang Bawah, Kota Semarang Atas struktur geologinya sebagian besar terdiri dari batuan beku.

Tanah lempung disebut sebagai salah satu tanah yang bermasalah karena sifat alaminya yang rendah daya dukung tanahnya dan tinggi kompresibilitasnya. Parameter kuat geser tanah lempung umumnya dicirikan dengan kecilnya nilai sudut geser dalam tanah dan dominannya nilai kohesi. Dua parameter ini sangat mempengaruhi besarnya kuat geser tanah atau daya dukung tanah. Oleh karenanya banyak penelitian stabilisasi tanah lempung dengan tujuan untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah yang lebih tinggi seperti Mohd Yusof, etc. (2014) dan Changizi, F. and Haddad, A. (2015). Mohd Yusof, etc. (2014) dengan menggunakan Electro Osmotic Consolidation dapat menaikkan kuat geser tanah dan menurunkan indeks plastisitas dan kadar air tanah. Dengan penambahan 0.5% nano-SiO<sub>2</sub> dan fiber 0.3% ke dalam tanah lempung alami Behbahan Iran, Changizi, F. and Haddad, A. (2015) menghasilkan nilai kohesi dan sudut

geser dalam tanah meningkat dari 38 kPa ke 73 kPa (kohesi) dan  $13.5^\circ$  ke  $27^\circ$  (sudut geser tanah dalam).

Kompresibilitas tinggi tanah lempung juga tergantung dari beban luar yang ada. Dengan kepadatan penduduk sangat padat, beban luar bertambah besar juga, tidak hanya beban dari pemukiman dan manusianya itu sendiri tetapi juga beban akibat aktifitas perdagangan, transportasi dll. Kondisi ini menjadikan Semarang Bawah ini berpotensi tanahnya mengalami penurunan sepanjang tahun.

Karakterisasi tanah dasar di kota Semarang Bawah akan dijelaskan pada sub-bab berikut dengan tujuan untuk mengetahui lebih detail karakter atau sifat tanah dasarnya yang mengandung tanah lempung sebagai penambahan data base.

#### **4.2 Kedalaman Tanah Lunak**

Data yang dianalisis ini bersumber pada data sekunder hasil pengujian boring, SPT dan atau sondir di area kota Semarang baik Semarang Bawah maupun Semarang Atas. Pada penentuan kedalaman tanah lunak ini, konsistensi tanah yang dipakai mulai dari tanah sangat lunak (*very soft clay*) s.d tanah keras (*stiff clay*) dengan nilai N-SPT  $< 15$ . Konsistensi yang dipakai ini sejalan dengan SNI-1726-2019 tentang klasifikasi kelas situs tanah dimana definisi tanah lunak untuk N-SPT rata-rata  $< 15$ . Untuk keperluan penentuan kedalaman tanah lunak, data yang berasal dari pengujian sondir ( $q_c$ ) harus dikonversi terlebih ke N-SPT yaitu menggunakan rumus empiris  $N-SPT = (q_c/4)$ . Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 menyajikan hasil analisis kedalaman tanah lunak untuk area Semarang Bawah dan Semarang Atas masing-masing. Data 4 titik lokasi pada area Semarang Bawah menggunakan data perlawanan konus, sedangkan lainnya menggunakan data N-SPT. Kedalaman tanah lunak pada area Semarang Bawah berdasarkan nilai N-SPT atau nilai perlawanan konus ( $q_c$ ) berkisar antara 15 meter s.d 40 meter, dengan kedalaman terbesar berada pada kecamatan Semarang Utara dan Genuk. Kedua kecamatan ini jika dilihat pada peta Gambar 4.1 berbatasan langsung dengan Pantai Utara Jawa dan mdplnya berkisar 1-2 meter (Tabel 4.1). Data ini menegaskan bahwa wilayah yang berbatasan dekat Pantai Utara Jawa memiliki tanah lunak yang lebih tebal dibandingkan dengan wilayah lainnya. Keberadaan tanah lunak ini menjadi problem tersendiri ketika menjadi tanah dasar untuk konstruksi bangunan.

Ketidaktepatan mengkarakterisasi tanah lunaknya bisa mengakibatkan konstruksi di atasnya tidak berfungsi dengan baik atau lebih lanjut mengakibatkan kegagalan bangunan.

Berbeda dengan kondisi area Semarang Bawah, kondisi tanah dasar Semarang Atas seperti yang disajikan pada Tabel 4.6 pada kedalaman 5 meter sudah dijumpai tanah dengan konsistensi *very stiff* bahkan beberapa konsistensinya *hard soil*. Berdasarkan analisis ini terlihat bahwa tanah lunak tidak dijumpai pada kawasan Semarang Atas, jikapun terdapat lapisan tersebut hanya beberapa meter saja (1-2 m) di bawah permukaan tanah dan bisa jadi disebabkan oleh faktor cuaca seperti adanya lapisan humus di permukaan tanah. Dengan adanya lapisan tanah keras yang tidak jauh dari permukaan tanah menjadikan desain dan biaya pekerjaan pondasi tidak serumit dan semahal jika dibandingkan dengan pekerjaan pondasi di kawasan Semarang bawah yang punya problem besar karena adanya lapisan tanah lunak jenuh air yang sangat tebal.

Tabel 4.5 Kedalaman tanah Lunak dan Kelas Situs Tanah di Area Kota Semarang Bawah

<b>Kode</b>	<b>Kedalaman (m)</b>	<b>N-SPT</b>	<b>qc (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Rata-rata N-SPT s.d kedalaman 30 m</b>	<b>Kelas Situs Tanah</b>
1	40	14		4	Tanah lunak
2	25	11		9	Tanah lunak
3	25	11		9	Tanah lunak
4	25	11		8	Tanah lunak
5	25	13		12	Tanah lunak
6	25	11		10	Tanah lunak
7	25	11		11	Tanah lunak
8	16		52	*	-
9	20		27	*	-
10	40	12		12	Tanah lunak
11	20		50	*	-
12	18		50	*	-
13	30	10		5	Tanah lunak
14	20	11		17	Tanah sedang
15	15	8		19	Tanah sedang
16	20	12		15	Tanah sedang
17	25	13		10	Tanah sedang
18	20	13		24	Tanah sedang

\*) Kedalaman tanah < 30 meter.

Tabel 4.6 Kedalaman tanah Lunak dan Kelas Situs Tanah di Area Kota Semarang Atas

Kode	Kedalaman (m)	N-SPT	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-rata N-SPT s.d kedalaman 30 m	Kelas Situs Tanah
1	5	29		52	Tanah sangat padat & batuan lunak
2	5	25		46	Tanah sedang
3	5	31		46	Tanah sedang
4	5	41		55	Tanah sangat padat & batuan lunak
5	2		75	*	-
6	5	35		89	Tanah sangat padat & batuan lunak
7	5	21		43	Tanah sedang

\*) Kedalaman tanah < 30 meter.

#### 4.3 Kelas Situs Tanah

Dalam suatu perencanaan konstruksi bangunan perlu diketahui klasifikasi / kelas situs tanah dasar sebagai material tempat konstruksi itu berdiri. Penentuan kelas situs ini penting selain untuk mengetahui seberapa tebal tanah dasar berpotensi untuk mengalami kompresibel juga untuk penentuan parameter tanah yang tepat sebagai input suatu desain. Untuk menentukan kelas situs tanah dapat digunakan tipe profil tanah berdasarkan standar UBC 1997 atau SNI-1726-2019 yang dihitung berdasarkan kedalaman tanah minimal 30 meter dihitung dari permukaan tanah, sehingga dalam suatu investigasi tanah baik dengan tes lapangan SPT maupun sondir sebaiknya mencapai kedalaman 30 meter. Begitupun dengan tes boring sangat diperlukan sebagai data pendukung untuk memberikan gambaran lebih pasti sifat tanah tersebut. Menurut UBC 1997 atau SNI-1726-2019, seperti yang disajikan pada Tabel 2.3, ini kelas situs dibagi menjadi lima macam tanah yaitu SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), dan SE (tanah lunak), dimana penentuan kelas situs tanah ini berdasarkan nilai N-SPT atau nilai kecepatan rambat gelombang geser (Vs). Nilai kecepatan rambat gelombang geser (Vs) atau modulus geser maksimum (Gmax) biasanya dikorelasikan dengan kuat geser yang diperoleh dari tes laboratorium ataupun besaran-besaran yang diperoleh dari tes lapangan seperti nilai N-SPT dan qc sondir. Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 nilai rata-rata N-SPT dihitung dari nilai N-SPT sampai dengan kedalaman 30 meter.

Beberapa titik lokasi tidak bisa ditentukan kelas situs tanahnya dikarenakan pengujian lapangannya tidak sampai kedalaman 30 meter. Tabel 4.5 menyajikan data hasil perhitungan kelas situs tanah pada kawasan Semarang Bawah yang dari hasil perhitungan didapatkan klasifikasinya tanah lunak (SE, N-SPT rata-rata  $< 15$ ) dan tanah sedang (SD,  $15 \leq$  N-SPT rata-rata  $\leq 50$ ). Kecamatan Genuk, Gayamsari, dan Semarang Utara banyak dijumpai tanah dengan kelas situs adalah tanah lunak, meskipun ada juga di kecamatan-kecamatan tersebut kelas situs tanah sedang. Dalam pemetaan nantinya jika dalam satu kecamatan dijumpai tanah dengan beberapa kelas situs tanah maka konsistensi tanah yang paling jelek yang akan dipakai. Jika diperhatikan pada Tabel 4.5 tanah dengan kelas situs tanah sedang memiliki nilai N-SPT rata-rata yang dekat dengan N-SPT 15 dan masih jauh dari nilai 50 (batas atas kelas situs tanah sedang) sehingga kelas situs tanah yang paling rendah yang akan dipakai. Pada kawasan kota Semarang Atas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 kelas situs tanahnya tidak ada yang tanah lunak (SE) tetapi tanah sedang (SD) dan tanah sangat padat dan batuan lunak (SC, N-SPT rata-rata  $> 15$ ). Kelas situs tanah sedang disini N-SPT rata-ratanya mendekati 50 atau mendekati kelas situs SC. Data ini memperkuat apa yang disajikan Bappeda Kota Semarang bahwa struktur geologi Semarang Atas sebagian besar terdiri dari batuan beku.

#### **4.4 Karakter Tanah Berdasarkan Parameter Tanah $c$ dan $\phi$**

Hasil uji laboratorium nilai parameter kuat geser tanah kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ) disajikan pada Tabel 4.7. Beberapa lokasi yang pengujian tanahnya dengan sondir tidak dilengkapi dengan uji boring sehingga tidak ada data properti tanahnya. Untuk memfokuskan kajian pada tanah lunak saja maka nilai  $c$  dan  $\phi$  yang disajikan hanya titik lokasi di kawasan Semarang Bawah saja. Data properti tanah yang ada pada Tabel 4.7 adalah data pada kedalaman sesuai dengan Tabel 4.5. Berdasarkan data yang ada diketahui tanah di lokasi penelitian didominasi oleh tanah berbutir halus (tanah lempung dan lanau) dengan prosentasenya  $> 50\%$ . Beberapa tanah prosentase butiran halus mendekati 50% hanya satu lokasi saja yang prosentase butiran halus kecil 16%. Jika dilihat nilai  $c$  pada Tabel 4.7 hampir semua nilai  $c < 25$  kPa, beberapa lainnya sedikit lebih besar dari 25 kPa. Berdasarkan data nilai  $c$  ini disimpulkan tanah yang ada di lokasi penelitian pada kedalaman tersebut (kedalaman pada Tabel 4.5) dikategorikan sebagai tanah lunak ( $c < 25$  kPa). Ditinjau dari nilai  $\phi$  yang ada (yang berasal dari pasir) hampir semua tanah dikategorikan sebagai tanah lepas ( $\phi < 30^\circ$ ), hanya beberapa saja

yang nilai  $\phi$  nya sedikit lebih besar dari  $30^\circ$ . Dari kajian terhadap parameter kuat geser  $c$  dan  $\phi$ , hasil yang ada tidak bertolak belakang terhadap kajian teknis terhadap nilai N-SPT, yaitu tanah di Semarang Bawah didominasi oleh tanah lempung lunak.

Tabel 4.7 Propertis tanah dan klasifikasi tanah di Area Kota Semarang Bawah

<b>Kode</b>	<b>c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\phi</math> (<math>^\circ</math>)</b>	<b>Kadar Air</b>	<b>LL</b>	<b>PL</b>	<b>PI</b>	<b>Nama Klasifikasi Tanah</b>
1	0.12	22.86	78.06	38	26.32	11.68	CL
2	0.05	23.99	71.51	73.00	41.57	31.43	MH
3	0.10	21.72	132.95	51	43.04	7.96	MH
4	0.07	29.2	71.27	25.77	20	5.77	CL-ML
5	0.012	33.26	53.31	47	26.61	20.39	CL
6	0	25.08	23	39	38.37	0.63	SM
7	0.33	20.54	58.74	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	0.10	32.31	58.81	57.00	25.23	31.77	CH
11	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-
13	0.241	11.91	56.39	60	39.25	20.75	MH
14	0.056	34.19	31.056	33	30.48	2.52	SM
15	0.313	11.46	62.24	70.64	36.69	33.95	MH
16	0.278	31.34	16.76	NON PLASTIS			-
17	0.145	29.35	38	26	23.36	2.64	ML
18	0.032	27.27	69.96	27	18.68	8.32	CL-ML

#### 4.5 Karakter Tanah Berdasarkan Kadar Air dan Plastisitas Tanah

Hasil uji laboratorium kadar air dan plastisitas tanah disajikan pada Tabel 4.7. Beberapa lokasi yang pengujian tanahnya dengan sondir tidak dilengkapi dengan uji boring sehingga tidak ada data kadar air dan plastisitas tanah. Hampir semua kadar air di lokasi penelitian lebih besar dari 30% ( $w > 30\%$ ) yang menunjukkan tanahnya adalah tanah lempung lunak, bahkan ada tanah yang memiliki  $w > 100\%$ . Hanya dua titik lokasi yang memiliki  $w < 30\%$  (16% s.d 23%). Dari tinjauan nilai plastisitas LL (batas cair), PL (batas plastis), dan PI (indeks plastisitas), tanah di Semarang bawah didominasi oleh tanah berplastisitas tinggi ( $IP > 17$ ) dan sedang ( $7 < IP < 17$ ), beberapa saja yang berplastisitas rendah ( $IP < 7$ ). Plastisitas tanah tinggi juga bisa dilihat dari nilai LL nya, jika  $LL > 50\%$  maka dikategorikan sebagai tanah berplastisitas tinggi. Dari data plastisitas yang ada bisa disimpulkan bahwa tanah Semarang Bawah didominasi oleh tanah lempung lunak. Plastisitas hanya ada pada tanah berbutir halus (lempung dan lanau), tidak pada tanah berbutir kasar (pasir dan kerikil,  $IP = 0$ ). Dari kajian terhadap nilai kadar air dan plastisitas tanah, hasil yang ada tidak bertolak belakang terhadap kajian teknis terhadap N-SPT dan parameter kuat geser  $c$  dan  $\phi$ , yaitu tanah di Semarang Bawah didominasi oleh tanah lempung lunak jenuh air.

#### **4.6 Karakter Tanah Berdasarkan Klasifikasi Tanah**

Dari propertis tanah hasil uji laboratorium yang disajikan pada Tabel 4.7, klasifikasi tanah dapat dianalisis dengan hasil analisis tercantum pada kolom terakhir. Tanah pada lokasi penelitian di kawasan Semarang Bawah disii oleh tanah lempung, lanau, dan pasir. Untuk tanah berbutir halus lempung dan lanau berplastisitas tinggi dan rendah: lempung plastisitas tinggi (CH), lempung plastisitas rendah / sedang (CL), lanau plastisitas tinggi (MH), dan lanau plastisitas rendah / sedang (ML). Hanya dua lokasi saja yang didominasi oleh pasir yaitu pasir kelanauan (SM). Terlihat pada hasil klasifikasi tanah bahwa tanah di Semarang Bawah didominasi oleh tanah berbutir halus dengan plastisitas dari rendah s.d tinggi. Semakin tinggi plastisitas maka tanah bermasalah yang menimbulkan penurunan tanah yang besar dan daya dukung tanah yang rendah. Dari kajian terhadap klasifikasi tanah, hasil yang ada tidak bertolak belakang terhadap kajian teknis terhadap N-SPT, parameter kuat geser  $c$  dan  $\phi$ , kadar air, dan plastisitas yaitu tanah di Semarang Bawah didominasi oleh tanah berbutir halus lunak jenuh air.

#### **4.7 Penentuan Tinggi atau Besar Beban Preloading**



Besarnya penurunan tanah pada tanah dasar akan diestimasi dengan memberikan beban timbunan (*preloading*). Penentuan tinggi timbunan atau besarnya beban preloading ini dengan memperhatikan: 1) beban lalu lintas dengan perkerasannya, 2) faktor keamanan (FK) yang diambil sama dengan 2 (FK berkisar 2 sampai 4). Daya dukung tanah dasar lunak jenuh air yang terbentuk setelah diberi beban preloading ini didefinisikan sama dengan beban lalu lintas dikalikan dengan FK. Setelah tanah diberi beban preloading maka dalam prosesnya tekanan air pori tanah akan mengalami peningkatan yaitu munculnya tekanan air pori tanah berlebih (*excess pore water pressure,  $\Delta U$* ). Berikutnya setelah terjadi proses disipasi  $\Delta U$ , tanah mengalami perubahan volume atau penurunan tanah. Keseluruhan proses ini mulai disipasi  $\Delta U$  s.d penurunan tanah disebut dengan proses konsolidasi yang mengakibatkan peningkatan daya dukung tanah. Dalam hal daya dukung tanah ini meningkat dikarenakan parameter kuat geser tanah  $c$  mengalami kenaikan (*gain strength*). Nilai  $c$  yang baru ini dipakai untuk menghitung daya dukung tanah (tegangan tanah ultimit  $q_{ult}$ ), dimana  $q_{ult}$  ini besarnya sama dengan 2 kali beban lalu lintas. Beban lalu lintas yang dipakai disini adalah beban truk “T”, pembebanan yang diberlakukan untuk jembatan jalan raya yang mengacu pada Standar RSNI T-02-2005. Beban truk “T” ini menggunakan pemodelan kondisi paling kritis dengan beban gandar terbesar yaitu 112.5 kN. Rumus untuk menghitung tegangan tanah ultimit sebagai berikut:

$$q_{ult} = c (N_c) \dots\dots\dots (4.1)$$

dengan

$c$  = kohesi (kPa)

$N_c$  = faktor kapasitas dukung tanah Terzaghi yang tergantung nilai  $\phi$

Kemudian untuk menghitung kenaikan kuat geser tanah ( $c$ ) dipakai rumus sebagai berikut:

$$c_1 = c_0 + 0.22 (\Delta\sigma) \dots\dots\dots (4.2)$$

dengan

$c_1$  = kohesi baru (kPa)

$c_0$  = kohesi mula-mula sebelum dibebani (kPa)

$\Delta\sigma$  = tegangan akibat beban timbunan preloading (kPa)

Dengan mensubstitusikan rumus (4.2) ke (4.1), nilai  $q_{ult}$  harus > dari 2 x beban lalu lintas, oleh karenanya tingginya timbunan atau besarnya beban preloading bisa ditentukan.

Beban lalu lintas dengan beban perkerasan beton dihitung sebagai berikut:

- 1) Beban roda  $T = 112.5 \text{ kN}$   
 Bidang kontak roda  $= 0.54 \text{ m}^2$   
 Muatan  $T = 112.5 / 0.54 = 208.33 \text{ kPa}$
- 2) Beban perkerasan beton bertulang dengan tebal  $0.3 \text{ m}$   
 Beban  $= 0.3 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 7.2 \text{ kPa}$   
 Beban total  $= 208.33 + 7.2 \text{ kPa} = 215.53 \text{ kPa}$

*Preloading* ini dalam prosesnya tidak diterapkan dalam satu waktu tetapi dilakukan secara bertahap (*stage construction*) mengingat jika diterapkan dalam satu waktu tanah timbunan *preloading* akan tenggelam dalam tanah dasar tersebut. Dalam analisis penurunan tanah secara manual ini *stage construction* tidak dilakukan, hanya ketika dengan program Plaxis *stage construction* dilakukan dengan tujuan untuk bisa mengikuti evolusi tekanan air pori dan faktor keamanan.

Tabel 4.8 menyajikan nilai parameter kuat geser tanah  $c$  dan  $\phi$  rata-rata di tiap titik lokasi. Beberapa titik lokasi tidak diketahui parameter kuat gesernya karena tidak ada pengujiannya.

Tabel 4.8 Nilai parameter kuat geser tanah  $c$  dan  $\phi$  rata-rata

Kode	$c_0$ rata-rata (kPa)	$\phi$ rata-rata (°)	Kode	$c_0$ rata-rata (kPa)	$\phi$ rata-rata (°)
1	13.74	28.53	10	11.84	28.19
2	14	18	11	-	-
3	13.92	21.34	12	-	-
4	7.5	26.26	13	17.43	25.06
5	11.58	28.15	14	4.40	27.74
6	18.62	20.05	15	53.83	12.17
7	34.12	17.58	16	25.50	31.66
8	-	-	17	18.92	30.35
9	-	-	18	9.05	27.71

Untuk perhitungan tingginya atau besarnya beban timbunan preloading, nilai  $c$  tanah eksisting (disebut  $c_0$ ) yang dipakai diambil dari nilai rata-rata seluruh titik lokasi penelitian. Untuk menghindari nilai rerata yang tidak mewakili nilai kebanyakan, maka nilai  $c_0$  pada titik lokasi nomor 7 dan 15 dihilangkan dikarenakan nilainya terpaut jauh dari nilai pada titik lokasi yang lain. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai rata-rata  $c_0$  dan  $\phi$  yaitu 13.88 kPa dan  $26.09^\circ$  masing-masing. Dengan memberikan beban timbunan preloading sebesar 80 kPa (setara 5 meter timbunan) yang disubstitusikan ke rumus (4.2) maka didapatkan nilai  $c_1$  sebesar 31.48 kPa Menurut Begemann (1965) nilai  $c$  sebesar 31.48 kPa dikategorikan sebagai tanah dengan konsistensi *medium stiff*, yang keruntuhan gesernya bisa dikategorikan ke *local shear failure*. Selanjutnya nilai  $c_1$  dan  $\phi$  rata-rata ini digunakan untuk menghitung nilai  $q_{ult}$  tanah dasar. Dengan  $\phi$  sebesar  $26.09^\circ$  didapatkan koefisien dukung tanah Terzaghi  $N_c$  sebesar 15.64 yang disubstitusikan ke rumus (4.1) didapatkan besarnya  $q_{ult} = 492.35$  kPa. Beban lalu lintas T total dihitung sebesar 215.53 kPa, dengan FK sebesar 2 maka beban yang diperhitungkan sebesar 431.06 kPa. Dikarenakan  $q_{ult} = 492.35$  kPa > beban 431.06 kPa, maka beban timbunan preloading sebesar 80 kPa telah memenuhi.

#### 4.8 Estimasi Besar Penurunan Tanah

Dari perhitungan beban timbunan preloading ditetapkan beban yang diaplikasikan pada tanah dasar sebesar 80 kPa. Pada perhitungan penurunan tanah, dengan kondisi tanah yang lunak maka tanah diasumsikan sebagai tanah lempung terkonsolidasi normal (*normally consolidated clay*). Penurunan yang dianalisis disini hanya penurunan konsolidasi saja. Formula untuk menghitung penurunan pada tanah lempung terkonsolidasi normal diberikan pada rumus (4.3).

$$S_c = \left\{ \frac{C_c \cdot H_i}{1 + e_0} \right\} \times \log \left\{ \frac{(p_o' + \Delta p)}{p_o'} \right\} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dengan  $S_c$  adalah penurunan konsolidasi (m),  $H$  ketebalan tanah (m),  $e_0$  void ratio,  $p_o'$  tekanan tanah efektif (kPa) dan  $\Delta p$  beban timbunan preloading (kPa).

Berat volume tanah ( $\gamma$ ) yang dipakai yaitu  $\gamma$  rata-rata dan nilai indeks pemampatan tanah  $C_c$  yang digunakan adalah nilai rata-rata  $C_c$  tanah dengan konsistensi tanahnya lunak s.d medium. Dikarenakan nilai indeks pemampatan  $C_c$  tidak semua lokasi ada datanya maka  $C_c$  yang digunakan untuk lokasi yang tidak ada nilai  $C_c$  nya adalah  $C_c$  nilai tengah dari Sophian (2010) yang berkisar antara 0.166 – 0.772, yaitu 0.444. Sophian (2010) juga memberikan nilai  $C_v$  di

peisir kota Semarang berkisar  $0.00022 - 0.002 \text{ cm}^2/\text{detik}$ . Tabel 4.9 menyajikan hasil analisis penurunan di 14 lokasi di Semarang Bawah yang besar penurunannya berkisar antara 0.93 m s.d 1.93 m. Dari data besar penurunan tanah ini sebarannya tidak selalu di kawasan yang dekat atau berbatasan dengan Pantai Utara Jawa selalu lebih besar dari kawasan lain yang jauh dari Pantai Utara Jawa tetapi secara general lokasi penelitian yang dekat atau berbatasan dengan Pantai Utara Jawa yaitu pada kecamatan Semarang Utara, Semarang Barat, dan Gayamsari (Gambar 4.1) memiliki besar penurunan yang besar dibandingkan dengan kawasan Semarang Tengah dan Semarang Selatan. Hasil ini pada trend besar penurunan tanah di kawasan yang berbatasan dengan Pantai Utara Jawa lebih besar tentunya masih perlu pengujian lebih mendalam dengan menganalisis lebih banyak data tanah di Semarang Bawah.

Tabel 4.9. Besar penurunan tanah di Semarang Bawah

Kode	Lokasi Penelitian	Kecamatan	Penurunan (m)
1	Kolam Retensi & Rumah Pompa Kampung Bahari, Tambak Lorok	Semarang Utara	1.926
2	RSIGM Sultan Agung, Jl. Kaligawe Km 4 Semarang	Gayamsari	1.545
3	Gedung Polairud, Kalibaru Barat Pelabuhan Tanjung Semarang*	Semarang Utara	1.04
4	Jembatan Pasar Kubro, Jl. Arteri Yos Sudarso Semarang	Gayamsari	1.305
5	Gedung Asrama Mahasiswa UNISSULA, Jl. Raya Kaligawe	Gayamsari	1.744
6	Gedung Kuliah Bersama UNISSULA, Jl. Raya Kaligawe	Gayamsari	0.888
7	Gedung RSISA, Jl. Raya Kaligawe Semarang	Gayamsari	1.245
8	Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang	Semarang Barat	-
9	Tower Menara Multi Fungsi, Kawasan Terboyo Raya Blok ABC	Semarang Barat	-
10	DEPO 2, Jl. Arteri Yos Sudarso Semarang	Gayamsari	1.674
11	Tanjung Laut Puri Anjasmoro, Bandara Internasional Ahmad Yani	Genuk	-
12	Jl. Madukoro Raya Semarang, Perlintasan Kereta Api	Semarang Barat	-
13	Jl. Madukoro Raya Semarang, Fly over Ahmad Yani #1	Semarang Barat	1.659
14	Jl. Madukoro Raya Semarang, Fly over Ahmad Yani #2	Semarang Barat	1.818
15	Gedung BPBD, Jl. Imam Bonjol Semarang	Semarang Utara	1.133
16	Gedung Direktorat Bea Cukai, Jl. Ahmad Yani Semarang	Semarang Tengah	1.268
17	Gedung Kos 6 Lantai, Jl. Dr. Cipto Semarang	Semarang Selatan	1.441
18	Kalibanger, Kemijen Semarang Timur	Semarang Barat	1.588

#### 4.9 Perbaikan Tanah Lunak

Beberapa perbaikan tanah untuk tanah lunak yang telah digunakan di lapangan ada banyak metodenya. Banyak metode tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu 1) dengan tambahan material (*additional material*), 2) tanpa tambahan material (*non-additional material*). Salah satu perbaikan tanah lunak tanpa tambahan material yang sangat populer sering digunakan adalah *prefabricated vertical drain* (PVD) dengan preloading. PVD ini berupa material geosintetik komposit yang dimasukkan ke dalam tanah sesuai kedalaman tanah lunaknya. PVD ini dapat bekerja dengan efektif hanya pada tanah berbutir halus (lanau dan lempung) dengan konsistensi tanahnya sangat lunak s.d lunak (Gambar 2.2). Pada penelitian ini PVD dimasukkan dengan kedalaman sesuai yang disajikan pada Tabel 4.5 dengan konsistensi tanahnya sangat lunak s.d medium stiff dengan nilai N-SPT < 15. Dengan melihat klasifikasi tanahnya seperti

yang ditampilkan pada Tabel 4.7 yaitu dominan lempung dan lanau, kedalaman-kedalaman tanah ini cocok dan efektif jika PVD digunakan sebagai perbaikan tanah lunaknya. Selanjutnya pada subbab berikutnya akan dijelaskan analisis waktu yang diperlukan untuk penurunan tanah yang besar penurunannya seperti disajikan pada Pabel 4.9. Waktu disini yaitu waktu penurunan dengan *preloading* dan waktu penurunan setelah diberi *preloading* dan PVD.

#### 4.10 Estimasi Waktu Penurunan Tanah

##### 4.10.1 Estimasi Waktu Penurunan Tanah dengan Preloading

Pada perhitungan estimasi waktu penurunan tanah beberapa kondisi ditetapkan sebagai berikut:

- 1) Beban timbunan *preloading* yang diaplikasikan pada tanah dasar sebesar 80 kPa.
- 2) Tebal tanah yang dipakai dalam perhitungan menurut kedalaman tanah lunak s.d medium seperti yang disajikan pada Tabel 4.5
- 3) Derajat konsolidasi ( $U_r$ ) yang digunakan disini adalah 90% sehingga setelah mencapai kondisi ini, sudah tidak ada penurunan konsolidasi
- 4) Dikarenakan nilai koefisien konsolidasi  $C_v$  tidak ada datanya maka  $C_v$  yang digunakan mengacu pada Sophian (2010) yang berkisar 0.00022 – 0.002  $\text{cm}^2/\text{detik}$  untuk wilayah pesisir kota Semarang.

Untuk memperkirakan atau estimasi lamanya waktu penurunan tanah yang akan terjadi digunakan formula (4.4) sebagai berikut:

$$t = (H^2)(T_v) / C_v \dots\dots\dots (4.4)$$

Dengan  $t$  adalah waktu penurunan konsolidasi (m),  $H$  ketebalan tanah (m),  $T_v$  faktor waktu dan  $C_v$  koefisien konsolidasi ( $\text{cm}^2/\text{detik}$ ).

Dengan memasukkan ketebalan tanah  $H$  (dianggap *double drainage*),  $T_v = 0.848$  (untuk  $U_r$  90%) dan  $C_v$  0.00022 – 0.002  $\text{cm}^2/\text{detik}$  pada rumus (4.4) maka dapat diketahui bahwa lamanya waktu penurunan tanah yang akan terjadi adalah antara 191 tahun ( $C_v$  0.00022  $\text{cm}^2/\text{detik}$ ) s.d 21 tahun ( $C_v$  0.002  $\text{cm}^2/\text{detik}$ ) dengan rata-rata kedalaman tanah lunak 25 m, dan pada kondisi derajat konsolidasi tanah mencapai  $U_r = 90\%$ . Salah satu alternatif metoda perbaikan tanah untuk menanggulangi masalah ini dalam hal ini mempersingkat waktu konsolidasi adalah dengan metoda prakompresi dengan penggunaan PVD.

#### 4.10.2 Estimasi Waktu Penurunan Tanah dengan *Preloading* dan PVD

Dari perhitungan beban timbunan preloading ditetapkan beban yang diaplikasikan pada tanah dasar sebesar 80 kPa. Perhitungan vertikal drain yang utama adalah menentukan kedalaman pemasangan, pola dan jarak titik pemasangan vertikal drain. Untuk menentukan kedalaman pemasangan vertikal drain tidak dilakukan perhitungan melainkan hanya berdasarkan pada kondisi lapisan tanah dasar. Dalam hal ini kedalaman pemasangan vertikal drain ditentukan rata-rata. Sedangkan untuk menentukan pola serta jarak titik pemasangan vertikal drain digunakan formula (4.5) (Hardiyatmo, 2002).

$$t = Th (S^2) / Ch \dots\dots\dots (4.5)$$

dengan:

t = waktu penurunan dengan adanya PVD

Th = faktor waktu arah horisontal

S = Jarak antar PVD

Ch = indeks kompresi arah horizontal = 2.Cv

Dengan tebal dan lebar PVD nya adalah 5 mm dan 0.1 m masing-masing dan diambil Cv nya 0.0011 cm<sup>2</sup>/detik (nilai tengah Cv 0.00022 – 0.002 cm<sup>2</sup>/detik) atau 0.0095 m<sup>2</sup>/hari didapatkan hasil seperti yang disajikan pada Tabel 4.10 untuk pola pemasangan segitiga dengan jarak antara PVD (S) yaitu 1 m. Untuk pola pemasangan segitiga dan bujur sangkar dengan jarak PVD 1 m s.d 1.6 m disajikan pada Tabel 4.11.

Waktu penurunan tanah dengan PVD yang diperhitungkan yaitu ketika mencapai derajat konsolidasi gabungan 90% {1-(1-Uv)(1-Uh)}. Seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.10, dengan pola pemasangan segitiga dengan jarak spasi (S) 1 meter, waktu yang dibutuhkan untuk penurunan tanah 30 hari dengan derajat konsolidasi 90%. Dengan variasi pola pemasangan dan jarak spasi, waktu penurunan tanah pola bujursangkar dengan jarak spasi yang sama lebih besar dibandingkan dengan pola segitiga seperti yang disajikan pada Tabel 4.11. Penentuan pola dan jarak spasi yang dipilih berdasarkan kriteria perencanaan konstruksi yaitu waktu yang tersedia

untuk pekerjaan dan perbaikan tanah. Misalkan waktu yang tersedia tersebut empat bulan maka bisa dipilih pola bujursangkar dengan spasi 1.6 meter.

Tabel 4.10 Hubungan pola PVD segitiga dan waktu penurunan

T (hari)	Cv (m <sup>2</sup> /hari)	Tv	Uv	Ch (m <sup>2</sup> /hari)	Th	Uh	U
1	0.0095	0.00006	0.00880	0.019	0.019	0.07306	0.081
5	0.0095	0.00030	0.01968	0.019	0.095	0.31566	0.329
10	0.0095	0.00061	0.02783	0.019	0.190	0.53168	0.545
15	0.0095	0.00091	0.03408	0.019	0.285	0.67951	0.690
20	0.0095	0.00122	0.03936	0.019	0.380	0.78068	0.789
25	0.0095	0.00152	0.04400	0.019	0.475	0.84991	0.857
30	0.0095	0.00182	0.04820	0.019	0.570	0.89729	0.902
40	0.0095	0.00243	0.05566	0.019	0.760	0.95190	0.955
50	0.0095	0.00304	0.06223	0.019	0.950	0.97747	0.979
60	0.0095	0.00365	0.06817	0.019	1.140	0.98945	0.990
70	0.0095	0.00426	0.07363	0.019	1.330	0.99506	0.995
80	0.0095	0.00486	0.07872	0.019	1.520	0.99769	0.998
90	0.0095	0.00547	0.08349	0.019	1.710	0.99892	0.999
100	0.0095	0.00608	0.08801	0.019	1.900	0.99949	1.000

Tabel 4.11 Waktu penurunan tanah dengan variasi pola PVD

Pola PVD	Waktu Penurunan (hari)			
	S 1 m	S 1.2 m	S 1.4 m	S 1.6 m
Segitiga	30	48	68	94
Bujursangkar	32	50	70	96

#### 4.11 Analisis dengan Program Plaxis

Pada analisis dengan menggunakan program Plaxis v8.2 ini timbunan *preloading* harus dilaksanakan secara bertahap mengingat bahwa daya dukung tanah dasarnya kecil. Pada setiap penempatan timbunan (misalkan dilaksanakan dalam tiga tahap penimbunan) tanah dasar



dikonsolidasi dan mengalami kenaikan daya dukung tanah (faktor keamanan / SF meningkat). Di dalam Plaxis ini bisa diketahui berapa nilai SF sebelum dan sesudah tanah dikonsolidasi. Terdapat hubungan yang erat antara daya dukung tanah, yang diwakili oleh tegangan efektif tanah, dengan keberadaan air pori. Daya dukung tanah akan melemah sesaat ketika timbunan diterapkan dikarenakan tekanan air pori membesar (adanya tambahan *excess pore water pressure*), demikian juga sebaliknya daya dukung tanah akan membesar jika tekanan air pori kecil (setelah dikonsolidasi). Saat tanah dasar tidak mengalami pembebanan apapun (tidak ada aksi) maka pada tanah dasar tersebut tidak akan mengalami reaksi. Pada Tabel 4.12 disajikan contoh hubungan *excess pore water pressure* dengan tekanan efektif tanah (dalam hal ini mempresentasikan daya dukung tanah). Penimbunan tahap 1, 2, dan 3 diperlihatkan pada fase stage 1, stage 3, dan stage 5 dan kondisi setelah dikonsolidasi diperlihatkan pada fase stage 2, stage 4, dan stage 6 (kolom Excess pp). Saat tanah dibebani pertama sekali dengan tanah timbunan, yaitu posisi *Stage 1* terjadi kenaikan air pori dari 0 ke 31,19 kN/m<sup>2</sup> dengan tegangan tanah efektifnya 283,42 kN/m<sup>2</sup>, kemudian setelah dikonsolidasi (*Stage 2*) terjadi penurunan *excess pore pressure* menjadi 0,173 kN/m<sup>2</sup> dengan kenaikan tegangan efektif sebesar 301, 25 kN/m<sup>2</sup>.

Tabel 4.12 Tekanan air pori dan tegangan tanah pada setiap fase

Phase	Tekanan air pori (kN/m <sup>2</sup> )		Tegangan (kN/m <sup>2</sup> )	
	Active PP	Excess PP	Total	Efektif
INITIAL	-522.06	0	-804.67	-282.61
STAGE 1	-543.71	-30.19	-826.71	-283.42
STAGE 2	-522.06	-0.173	-823.31	-301.25
STAGE 3	-531.26	-23.40	-832.81	-301.62
STAGE 4	-522.06	-0.053	-831.90	-309.84
STAGE 5	-530.45	-24.59	-840.77	-310.23
STAGE 6	-522.06	-0.157	-840.81	-318.75

## **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### 5.1 Kesimpulan

- 1) Dijelaskan perbedaan kota Semarang Bawah dan Semarang Atas berdasarkan ketinggian muka air laut. Berdasarkan hasil analisis sebagian besar Semarang Bawah didominasi tanah lunak dengan kedalaman 20 m sampai 40 m. Profil tanah berkisar dari SE (tanah lunak) sampai SD (tanah sedang) dan klasifikasi tanah berkisar dari lempung plastisitas rendah sampai tinggi (CL, CH).
- 2) Perkiraan penurunan tanah dasar sekitar 0.89 m sampai dengan 1.93 m, dengan lamanya penurunan berkisar antara 191 tahun s.d 21 tahun.
- 3) Dengan perbaikan tanah menggunakan *prefabricated vertical drain* (PVD) dan beban *preloading* waktu penurunan menjadi 96 hari dengan pola pemasangan segitiga dengan jarak spasi PVD 1.6 meter.

### 5.2 Saran

- 1) Penyimpulan bahwa semua tanah di lokasi yang dekat atau berbatasan dengan Pantai Utara Jawa selalu lebih besar dari lokasi lain yang jauh dari Pantai Utara Jawa perlu pembuktian yang lebih mendalam sehingga diperlukan data tanah yang lebih banyak dan menyebar di semua wilayah.
- 2) Data hasil penelitian ini masih perlu ditambah dan dikembangkan untuk bisa menjadi data base untuk pemetaan lunak di kota Semarang Bawah.

## DAFTAR PUSTAKA

Afif, A. K., Ahmad, M. R., & Reardi, H. (2019). Studi Kasus Kolom Grout Modular (KGM) terhadap Penurunan dan Stabilitas Timbunan Oprit Jembatan Di Atas Tanah Lunak. *Proc. 23<sup>rd</sup> Annual Indonesian National Conference on Geotechnical Engineering* (Jakarta)

Ariyanti, F. (2017). *Tanah Tol Palembang-Indralaya Ambles, Ini Penjelasan Menteri PUPR* diakses pada 3 April 2020 di <https://www.liputan6.com/bisnis/read/2996348/tanah-tol-palembang-indralaya-ambles-ini-penjelasan-menteri-pupr>

Azis, A. A. (2018). *Ketika Tanah Lunak Tak Ada Flyover yang Tak Retak* diakses pada 3 April 2020 di <https://kaltimkece.id/warta/terkini/ketika-tanah-lunak-tak-ada-flyover-yang-tak-retak>

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002) *Panduan Geoteknik 1: Timbunan Jalan pada Tanah Lunak – Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak*. WSP International Jakarta

Dong, P.H. (2018). Influence of Vertical Drains on Improving Dredged Mud by Vacuum Consolidation Method. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering* Vol. 12 No. 5 pp. 63-72

Eriyanto D., Priadi E., dan Purwoko, B. (2016). Pemetaan Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT di Kota Pontianak. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, Vol. 3 No. 3 2016

Foad Changizi, Abdolhosein Haddad, Strength properties of soft clay treated with mixture of nano-SiO<sub>2</sub> and recycled polyester fiber, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Volume 7, Issue 4, 2015, Pages 367-378, ISSN 1674-7755, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.03.013>.

Lastiasih Y., & Sari P. T. K. (2019). Pemetaan Tanah Lunak Di Surabaya Timur Untuk Perkuatan Tanah Menggunakan Vertical Drain, *Proc. 23<sup>rd</sup> Annual Indonesian National Conference on Geotechnical Engineering* (Jakarta)

Long, P. V., Bergado, D. T., Nguyen, L. V., & Balasubramaniam, A. (2013). Design and Performance of Soft Ground Improvement Using PVD with and without Vacuum Consolidation. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS and AGSSEA* Vol. 44 No. 4 December 2013 pp. 36-51

Long, P. V., Nguyen, L. V., Bergado, D. T., & Balasubramaniam, A (2015). Performance of PVD Improved Soft Ground Using Vacuum Consolidation Methods with and without airtight Membrane. *Journal of Geotextiles and Geomembranes* Vol. 43 Issue 6 Nov 2015 pp. 473-483

Menard. (2019). Karakteristik Transfer Beban Dan Pola Penurunan Terhadap Waktu Pada Controlled Modulus Column Menggunakan Analisis Numerik Tiga Dimensi, *Proc. 23<sup>rd</sup> Annual Indonesian National Conference on Geotechnical Engineering* (Jakarta)

Mission, J. L., Kim, H. J., & Won, M. S. (2012). Ground Improvement Optimization with Prefabricated Vertical Drains (PVD) and Surcharge Preloading. *Proc. The 2012 World Congress on Advances in Civil, Environmental, and Materials Research (ACEM '12)* (Seoul)

Mohd Yusof, K.N., Ahmad, F., Abdullah, M.M.A.B., Mohd Tahir, M.F., 2014. Effects of Electro Osmotic Consolidation in South West of Johor: Small Laboratory Scale. MSF 803, 255–264. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.803.255>

Pratama, A. W. S., Rekardi, H., dan Karlinasari R. (2019). Studi Kasus Soil Treatment Minipile Dengan Platform Sebagai Zona Transisi Vacuum Consolidation Method Dengan Area Box Jalan Pada Jalan Tol Pemalang Batang, *Proc. 23<sup>rd</sup> Annual Indonesian National Conference on Geotechnical Engineering* (Jakarta)

Puri A., & Ardiansyah R. (2008). Pemetaan Konsistensi Tanah dan Perkiraan Jenis Pondasi di Kota Pekanbaru, *Jurnal Saintis* Vol. 10 No. 1 April 2018 pp. 11-20

Satibi, S. (2009) Numerical Analysis and Design Criteria of Embankments on Floating Piles. Dissertation, Institut fur Geotechnik der Universitat Stuttgart.

Seah, T. H., Kim, T. B., & Nguyen, T. D. (2016). Ground Improvement Via Vacuum Consolidation Method in Vietnam. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS and AGSSEA* Vol. 47 No. 4 December 2016 pp. 1-9

SNI-1726-2019 (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional (BSN)

Sophian, R.I (2010). Penurunan muka tanah di kota-kota besar pesisir pantai utara Jawa (Studi kasus kota Semarang). *Bulletin of Scientific Contribution*, Volume 8, Nomor 1, April 2010: 4 1-60

Standar Nasional Indonesia. *SNI 03-1733-2004*. Tata cara perencanaan lingkungan perumahan di perkotaan

Terzaghi, K & Peck, R.B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Willey, New York.